SINTESIS HIJAU KOMPOSIT TiO_2/Fe_2O_3/rGO UNTUK FOTOKATALISIS DEGRADASI *TETRACYCLINE*

HAFSOH TRI MUSTIKA RAHIMI
H2061241007

TESIS

PROGRAM STUDI S2 KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
2026

SINTESIS HIJAU KOMPOSIT TiO_2/Fe_2O_3/rGO UNTUK FOTOKATALISIS DEGRADASI *TETRACYCLINE*

TESIS

Sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister Sains
dari Universitas Tanjungpura

Oleh

HAFSOH TRI MUSTIKA RAHIMI
H2061241007

PROGRAM STUDI S2 KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Sintesis Hijau Komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO Untuk Fotokatalisis Degradasi *Tetracycline*
Nama Mahasiswa	: Hafsoh Tri Mustika Rahimi
NIM	: H2061241007
Jurusan/Program Studi	: Kimia/S-2 Kimia
Tanggal Lulus	: 09 Juni 2026
SK Pembimbing	: Nomor 1334/UN22.8/TD.06/2025/05 Mei 2025
SK Penguji	: Nomor 2878/DST/UN22.8/DT.00/2026/08 Juni 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Dr. Anthoni Batahan Aritonang, S.Si., M.Si
NIP. 196803082000031001

Pembimbing II

Dr. Muhammad Agus Wibowo, S.Si., M.Si
NIP. 197301092000031002

Dosen Penguji

Ketua Penguji

Dr. Anis Shofiyani, S.Si., M.Si
NIP. 197311152000122001

Anggota Penguji

Dr. Andi Hairil Alimuddin, S.Si., M.Si
NIP. 197109202000121001

Pimpinan Sidang
(Merangkap Anggota Penguji)

Dr. Anthoni Batahan Aritonang, S.Si., M.Si
NIP. 196803082000031001

Sekretaris Sidang
(Merangkap Anggota Penguji)

Dr. Muhammad Agus Wibowo, S.Si., M.Si
NIP. 197301092000031002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si
NIP. 197108022000031001

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hafsoh Tri Mustika Rahimi

NIM : H2061241007

Program Studi/Jurusan : Kimia/S2-Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir (Tesis) dengan judul Sintesis Hijau Komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO Untuk Fotokatalisis Degradasi *Tetracycline* yang ditulis **tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik** sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021 tentang Integritas Akademik dalam Menghasilkan Karya Ilmiah. Apabila dikemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 23 Juni 2026



Hafsoh Tri Mustika Rahimi
H2061241007

Dipindai dengan CamScanner

ABSTRAK

SINTESIS HIJAU KOMPOSIT TiO_2/Fe_2O_3/rGO UNTUK FOTOKATALISIS DEGRADASI *TETRACYCLINE*

Oleh
Hafsoh Tri Mustika Rahimi
H2061241007
(Program Studi S2 Kimia)

Keberadaan *Tetracycline* (TC) yang persisten dalam sistem perairan dapat meningkatkan risiko penyebaran resistensi bakteri yang mengancam kesehatan global. *Tetracycline* (TC) dapat didegradasi menjadi molekul kecil, sederhana, dan kurang berbahaya menggunakan metode fotokatalisis. Dalam penelitian ini, dilakukan sintesis hijau komposit TiO_2/Fe_2O_3 melalui metode sol-gel dengan penambahan ekstrak rumput laut cokelat (*Sargassum sp*.) sebagai agen penstabil dan pengkelat yang mencegah aglomerasi, yang dilanjutkan dengan hidrotermal pada variasi konsentrasi penambangan rGO (1%, 2%, 3%) untuk menghasilkan spesies radikal reaktif yang berperan dalam proses degradasi TC. Fotokatalis yang dihasilkan dikarakterisasi dan diuji menggunakan teknik FTIR, XRD, SAA, UV-Vis DRS, PSA, dan UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan rGO berhasil meningkatkan kristalinitas dan sifat karakteristik permukaan pada komposit, sehingga mampu meningkatkan efisiensi degradasi TC. Efisiensi degradasi TC tertinggi sebesar 71,3% diperoleh setelah 120 menit iradiasi di bawah cahaya tampak menggunakan fotokatalis TiO_2/Fe_2O_3/rGO 2%. Penelitian ini juga menyelidiki mekanisme pembentukan *heterojunction* yang efektif untuk menekan rekombinasi muatan. Studi ini menyajikan pendekatan sintesis katalis yang efisien dan ramah lingkungan untuk degradasi *Tetracycline*.

Kata kunci: *Tetracycline,* fotokatalisis, komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO, *heterojunction*, degradasi

ABSTRACT

GREEN SYNTHESIS OF TiO_2/Fe_2O_3/rGO COMPOSITE FOR PHOTOCATALYSIS OF TETRACYCLINE DEGRADATION

By
Hafsoh Tri Mustika Rahimi
H2061241007
(*Master's Program in Chemistry*)

The persistent presence of tetracycline (TC) in aquatic systems can increase the risk of spreading bacterial resistance, which poses a threat to global health. Tetracycline (TC) can be degraded into smaller, simpler, and less harmful molecules using photocatalysis. In this study, a green synthesis of TiO_2/ Fe_2O_3 composite via the sol-gel method with the addition of brown seaweed extract (Sargassum sp.) as a stabilizing and chelating agent to prevent agglomeration, followed by hydrothermal treatment at varying concentrations of rGO (1%, 2%, 3%) to generate reactive radical species that play a role in the TC degradation process. The resulting photocatalysts were characterized and tested using FTIR, XRD, SAA, UV-Vis DRS, PSA, and UV-Vis techniques. The results showed that the addition of rGO successfully improved the crystallinity and surface characteristics of the composites, thereby enhancing TC degradation efficiency. The highest TC degradation efficiency of 71.3% was achieved after 120 minutes of irradiation under visible light using the 2% TiO_2/Fe_2O_3/rGO photocatalyst. This study also investigated the mechanism of heterojunction formation, which is effective in suppressing charge recombination. This study presents an efficient and environmentally friendly catalyst synthesis approach for Tetracycline degradation.

Keywords: Tetracycline, photocatalysis, TiO_2/Fe_2O_3/rGO composite, heterojunction, degradation

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul "Sintesis Hijau Komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO untuk Fotokatalisis Degradasi *Tetracycline*". Tesis ini membahas sintesis hijau komposit TiO_2/Fe_2O_3 menggunakan ekstrak rumput laut coklat (*Sargassum sp.*) sebagai agen penstabil sekaligus pengkelat. Komposit yang terbentuk kemudian ditambahkan rGO pada berbagai variasi konsentrasi (1%, 2%, 3%) untuk dikarakterisasi dan diuji aktivitas fotokatalitiknya dalam degradasi *Tetracycline*. Tesis ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar magister sains pada Program Studi Pascasarjana Kimia FMIPA Universitas Tanjungpura.

Banyak pelajaran berharga yang telah diperoleh penulis selama menempuh perkuliahan sampai penulisan tesis ini selesai yang tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Hartoko dan Ibu Cucu, saudara saya Mas Ghani, Kak Dewi, De Umar, serta keluarga besar tercinta atas doa, restu, kasih sayang, motivasi, dan semangat yang telah diberikan kepada selama ini.
2. Dr. Gusrizal, S.Si, M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Tanjungpura.
3. Dr. Andi Hairil Alimuddin, S.Si, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Tanjungpura.
4. Dr. Anthoni B. Aritonang, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I dan Dr. Muhammad Agus Wibowo, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menjalani penelitian maupun penyusunan tesis ini.
5. Dr. Anis Sofiyani, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji I dan Dr. Andi Hairil Alimuddin, S.Si, M.Si selaku Dosen Penguji II atas masukan dan saran agar tesis ini menjadi lebih baik.
6. Dr. Andi Hairil Alimuddin, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan arahan, ilmu, dan motivasi selama penulis menjalankan perkuliahan.

7. Prof. Rudiyansyah, Ph.D selaku Kepala Laboratorium Riset Kimia FMIPA Universitas Tanjungpura, serta Yoga Pratama, S.Si., M.Si dan Titiek Lestari, S.Si., M.Si atas pelayanan laboratorium dan kerja sama yang baik selama penelitian ini.
8. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan FMIPA Universitas Tanjungpura yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan bantuan kepada penulis selama menjalankan perkuliahan.
9. Teman-teman seperjuangan angkatan 2024 (Kak Sana, Kak Kurnia, Kak Adel, Kak Jubai, Kak Aisyah, dan Hanapi), yang telah saling memotivasi, bertukar pikiran, serta memberikan dukungan dan kebersamaan selama menempuh studi S2 ini.
10. Keluarga Master Chef, keluarga besar Aurumound, keluarga besar Kimia FMIPA Universitas Tanjungpura maupun teman-teman di luar kampus terima kasih atas ilmu, semangat, dukungan maupun kebersamaan layaknya keluarga selama penulis menjalankan perkuliahan dan penulisan tesis ini hingga selesai.

Kritik dan masukan agar tesis ini lebih baik sangat penulis harapkan. Semoga tesis ini dapat bermanfaat demi kemajuan dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Pontianak, Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

COVER i
HALAMAN PENGESAHAN ii
ABSTRAK iv
PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR LAMPIRAN x
DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI xi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Masalah Penelitian 3
1.3 Hipotesis 4
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Keaslian Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Fotokatalisis 7
2.2 Titanium Dioksida (TiO_2) 8
2.4 Besi (II) Oksida (Fe_2O_3) 12
2.5 Komposit TiO_2/Fe_2O_3 13
2.6 *Reduced Graphene Oxide* (rGO) 13
2.7 Rumput Laut Cokelat (*Sargassum sp*.) 15
2.8 Analisis Karakterisasi 16
BAB III METODE PENELITIAN 21
3.1 Lokasi Penelitian 21
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian 21
3.3 Prosedur Kerja 22
3.3.1 Ekstraksi Rumput laut cokelat (*Sargassum* sp.) 22
3.3.2 Sintesis TiO_2 22
3.3.3 Sintesis komposit TiO_2/Fe_2O_3 23
3.3.4 Sintesis *graphene oxide* (GO) 23
3.3.5 Sintesis *Reduced Graphene Oxide* (rGO) 23
3.3.6 Sintesis komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO 24
3.3.7 Penyiapan reaktor fotokatalisis 24

3.3.8 Uji aktivitas fotokatalisis TiO_2/Fe_2O_3/rGO pada degradasi *Tetracycline* 25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Ekstraksi Rumput Laut Cokelat (*Sargassum* sp.) 27
4.2 Sintesis Komposit TiO_2/Fe_2O_3 28
4.3 Sintesis Graphene Oxide (GO) dan Reduce Graphene Oxide (rGO) 31
4.4 Sintesis Komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO 35
4.5 Analisis Data Karakterisasi 36
4.6 Uji Aktivitas Fotokatalisis Terhadap Degradasi *Tetracycline* 51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 58
5.1 Kesimpulan 58
5.2 Saran 58
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN 66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Dokumentasi Penelitian 66
Lampiran B. Perhitungan..... 71
Lampiran C. Hasil Analisis Karakterisasi XRD 74
Lampiran D. Hasil Analisis Karakterisasi UV-Vis DRS..... 77
Lampiran E. Hasil Analisis Karakterisasi SAA..... 81
Lampiran F. Hasil Karakterisasi PSA..... 84
Lampiran G. Hasil Uji Aktivitas Fotokatalitik Degradasi Tetracycline 86

DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

Gambar 2.1 Reaksi Fotokatalitik (Mamatha et al., 2023) 8
Gambar 2.2 Struktur Kristal TiO2 (a) rutile, (b) anatase, (c) brookite (Synowiec et al., 2023) 9
Gambar 2.3 Mekanisme transfer pembawa muatan dari heterojunction: (a) tipe-I, (b) tipe-II, & (c) tipe-III (Goodarzi et al., 2023). 11
Gambar 2.4 Struktur kisi heksagonal Grafena Oksida (GO) dan posisi gugus fungsi (Magro et al., 2025) 14
Gambar 2.5 Rumput laut cokelat (Sargassum sp.). 16
Gambar 2.6 Spektrum FTIR (Utami et al., 2024). 17
Gambar 2.7 Pola XRD dari TiO2 dan komposit TiO2/Fe2O3(Zajac et al., 2022)..18
Gambar 2. 8 Tauc plot TiO_2 (murni) dan α-Fe_2O_3/TiO_2 (nanokomposit) (Mohammadi et al., 2023). 19
Gambar 3.1 Reaktor Fotokatalitik……..25
Gambar 4.1 Rumput laut cokelat (Sargassum sp.) segar……...27
Gambar 4.2 Ekstrak kental rumput laut cokelat (Sargassum sp.). 28
Gambar 4.3 Proses reaksi hidrolisis-kondensasi alkoksida titanium dalam metode sol-gel (Chang, 2023). 29
Gambar 4.4 (a) gel basah, (b) gel kering TiO_2, (c) gel kering TiO_2/Fe_2O_3 30
Gambar 4.5 Hasil Kalsinasi (a) TiO_2 dan (b) Komposit TiO_2/Fe_2O_3 30
Gambar 4.6 (a) Grafit, (b) Graphene Oxide, (c) Reduced Graphene Oxide..... 31
Gambar 4.7 Serbuk Graphene Oxide (GO) 32
Gambar 4.8 Mekanisme de-epoksidasi hidrazin pada GO 33
Gambar 4.9 Serbuk Reduced Graphene Oxide (RGO) 34
Gambar 4.10 Komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO 36
Gambar 4.11 Komposit TiO_2/Fe_2O_3 dengan variasi konsentrasi rGO (a) 1%, (b) 2%, (c) 3% 36
Gambar 4.12 Spektra inframerah (dari) sampel (a) ekstrak rumput laut cokelat (Sargassum sp.), (b) TiO_2-ekstrak, (c) komposit TiO_2/Fe_2O_3-ekstrak .. 37
Gambar 4.13 Spektrum XPS Ag 3d (a); O 1s (b); C 1s (c) dari AgNPs (Irshad et al., 2024) 39
Gambar 4.14 Spektra FTIR TiO_2 dan komposit TiO_2/Fe_2O_3 dengan ekstrak Sargassum sp. : (a) TiO_2-ekstrak (sebelum kalsinasi), (b) TiO_2-ekstrak (setelah kalsinasi), (c) TiO_2/Fe_2O_3-ekstrak (sebelum kalsinasi), (d) TiO_2/Fe_2O_3-ekstrak (setelah kalsinasi) 40
Gambar 4.15 Spektra FTIR (a) GO dan (b) rGO 41
Gambar 4.16 Spektra FTIR (a) TiO_2/Fe_2O_3, (b) rGO, (c) TiO_2/Fe_2O_3/rGO 1% , (d) TiO_2/Fe_2O_3/rGO 2%, (e) TiO_2/Fe_2O_3/rGO 3% 42
Gambar 4.17 Pola XRD material hasil sintesis 44
Gambar 4.18 Spektra reflektansi difus UV–vis material hasil sintesis (e) dan Plot Tauc (a-d) 48
Gambar 4.19 Hubungan efisiensi degradasi TC melalui fotokatalisis, fotolisis, dan adsorpsi 52
Gambar 4. 20 Diagram mekanisme fotokatalitik yang diusulkan untuk fotokatalis heterojunction (a) TiO_2/ Fe_2O_3 sebelum kontak dengan cahaya dan (b)TiO_2/Fe_2O_3/rGO sesudah kontak dengan cahaya 53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik struktural dan porositas material (Utami et al., 2024). 20
Tabel 4.1 Parameter difraksi sinar-X sampel komposit TiO_2/Fe_2O_3 /rGO 1, 2, 3% (TF1, TF2, TF3), rGO, TiO_2 (TO), dan TiO_2/Fe_2O_3 (TF)……..45
Tabel 4.2 Data energi celah pita (band gap) 47
Tabel 4. 3 Karakteristik struktural material padat hasil sintesis 50
Tabel 4. 4 Hasil analisis PSA 51
Tabel 4. 5 Persentase penurunan absorbansi TC setelah iradiasi 120 menit 54
Tabel 4.6 Produk sampingan hasil degradasi Tetracycline yang terdeteksi oleh teknik HPLC-MS (Niu et al., 2021)……55

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan antibiotik *Tetracycline* (TC) secara masif di berbagai sektor dapat meningkatkan risiko terbentuknya gen resisten antibiotik (Mohammadi *et al*., 2023; L. Xu *et al*., 2021). Hal ini dikarenakan sekitar 75% dari total antibiotik yang dikonsumsi tidak sepenuhnya diserap oleh tubuh, sehingga biasanya dieksresikan dalam bentuk aktif yang berpotensi merusak ekosistem lingkungan (Elmund *et al*., 1971; L. Xu *et al*., 2021). Salah satu metode strategis yang potensial untuk mendegradasi TC ialah metode fotokatalisis berbasis Titanium dioksida (TiO_2) (Silerio-Vázquez *et al*., 2024). Dalam prosesnya, material TiO_2 dapat menghasilkan senyawa radikal reaktif yang mampu mendegradasi substrat organik maupun menginhibisi bakteri patogen (Rathi *et al*., 2023).

Teknik konvensional dalam sintesis TiO_2 umumnya menggunakan metode kimia basah, yang memerlukan agen penstabil atau pereduksi dari bahan kimia tertentu yang berpotensi menghasilkan produk sampingan berbahaya (Chang *et al*., 2023; Juma *et al*., 2015). Oleh karena itu, pendekatan sintesis hijau (*Green Chemistry*) berbasis ekstrak biomassa sebagai agen pelapis (*capping agent*), pereduksi, atau pengkelat dapat menjadi alternatif metode ramah lingkungan sebagai pengganti bahan kimia berbahaya (Aritonang *et al*., 2025; Mohamed *et al*., 2019). Penelitian terkait menunjukkan bahwa biosintesis TiO_2 melalui penambahan ekstrak kulit Petai (*Parkia speciosa*) dengan kandungan senyawa flavonoid, polifenol, dan alkaloid sebagai agen penstabil yang mampu menghasilkan nanopartikel TiO_2 berukuran 16-22 nm. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan penambahan ekstrak rumput laut cokelat (*Sargassum* sp.) berdasarkan kandungan senyawa bioaktif dalam metabolit sekundernya yang berpotensi sebagai agen penstabil dan pereduksi dalam sintesis nanopartikel TiO_2 (Fakhouri, 2026; Li *et al*., 2021).

Titanium dioksida (TiO_2) dikenal sebagai fotokatalis yang efisien dalam berbagai aplikasi lingkungan karena daya oksidasinya yang kuat, tidak beracun, dan stabilitas jangka panjang. Namun, energi celah pita TiO_2 yang lebar (3,0-3,2 eV)

dapat membatasi kemampuannya dalam menyerap cahaya tampak saat digunakan (Zhang *et al*., 2014). Oleh karena itu, dibutuhkan metode pengembangan dalam memodifikasi permukaan TiO_2 dengan menambahkan material semikonduktor lainnya untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya (Mohamed *et al*., 2019). Salah satu strategi yang menjanjikan yakni penggabungan TiO_2 dengan semikonduktor Besi (III) oksida (Fe_2O_3) atau hematit yang memiliki energi celah pita lebih rendah (2,2 eV) (Mohammadi *et al*., 2023). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa komposit TiO_2/kaolin terdoping Fe mampu mempersempit ukuran celah pita dari 3,25 eV menjadi 2,85 eV yang meningkatkan kemampuan penyerapan cahaya tampak (Aritonang *et al*., 2021).

Meskipun modifikasi permukaan TiO_2 dengan Fe_2O_3 dapat memperluas serapan pada spektrum cahaya tampak, terdapat hasil penelitian lain yang adanya penurunan luas permukaan (dari 106,34 menjadi 88,12 m^2/mg) serta volume pori TiO_2 (dari 0,4808 menjadi 0,4251 cm^3/g) setelah proses sintesis. Kondisi ini mengindikasikan berkurangnya kedalaman pori dan meningkatnya ketebalan dinding pori (dari 18,086 menjadi 19,030 nm) sebagai akibat impregnasi TiO_2 ke dalam α- Fe_2O_3 (Mohammadi *et al*., 2023). Selain itu rendahnya mobilitas muatan di permukaan fotokatalis dapat mengakibatkan peluang rekombinasi *photoelectron* dan *photohole* semakin tinggi. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan imobilisasi komposit TiO_2/Fe_2O_3 di atas permukaan nanostruktur karbon seperti *Reduced Graphene Oxide* (rGO) yang terbukti berhasil meningkatkan degradasi fotokatalitik dibandingkan fotokatalis murni (Hidayati *et al*., 2021; Utami *et al*., 2024). Penggabungan rGO dengan fotokatalis TiO_2/Fe_2O_3 dapat mempermudah perpindahan elektron dari TiO_2 ke rGO dan ke Fe_2O_3, sehingga muatan yang terbentuk akan terpisah dan dapat mencegah terjadinya rekombinasi (Rashid *et al*., 2025).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa, TiO_2-rGO yang disintesis dari TiO_2 dan grafit dengan metode hidrotermal, berhasil meningkatkan efisiensi fotokatalisis degradasi Metilen Biru (MB) di bawah sinar tampak menjadi 84,32% (Hidayati *et al*., 2021). Beberapa studi juga melaporkan bahwa nanokomposit Fe_2O_3/TiO_2/GO memiliki aktivitas fotokatalitik tinggi (Jo & Selvam, 2015; F. Wang *et al*., 2019), dengan rasio Fe_2O_3 optimal sebesar 5% terhadap TiO_2 untuk menghasilkan efisiensi

fotokatalitik tertinggi (Abbas *et al*., 2016). Komposisi komposit TiO_2/Fe_2O_3/GO dengan 1% GO dan 50% TiO_2 mampu mencapai efisiensi fotodegradasi metilen biru (MB) hingga 98% dalam 150 menit di bawah iradiasi cahaya tampak, lebih baik dibandingkan TiO_2 dan Fe_2O_3 tunggal (Jo & Selvam, 2015). Namun, rendahnya konduktivitas GO dibanding rGO akibat gugus oksigen yang berlebih dapat membatasi efisiensi transfer muatan fotokatalitiknya dalam jangka panjang (Smith *et al*., 2019).

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi lebih lanjut pada fotokatalis TiO_2/Fe_2O_3 yang disintesis terlebih dahulu menggunakan metode sol-gel dengan pendekatan sintesis hijau berbasis ekstrak rumput laut cokelat (*Sargassum sp*.), kemudian dikompositkan dengan rGO melalui metode hidrotermal dengan variasi kadar rGO sebesar 1%, 2%, dan 3% (%b/b). Penelitian ini diharapkan menghasilkan komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO yang efektif di bawah iradiasi cahaya tampak serta mengalami peningkatan ukuran luas permukaan dan reaktivitas fotoktalitiknya. Komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO yang terbentuk selanjutnya dikarakterisasi menggunakan instrumen *Spectrophotometer Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Spectrophotometer Diffuse Reflectance Spectroscopy UV-Vis* (DRS UV-Vis), *Surface Area Analyzer* (SAA) dengan metode *Brunauer Emmett Teller* (BET), *X-Ray Diffraction (*XRD), dan *Particle Size Analyzer* (PSA). Aktivitas fotokatalitik komposit TiO_2/Fe_2O_3–/rGO dievaluasi dalam proses degradasi *Tetracycline* di bawah iradiasi cahaya tampak.

1.2 Masalah Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang, berikut rumusan permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak rumput laut cokelat (*Sargassum* sp.) dalam sintesis hijau komposit TiO_2/Fe_2O_3 ?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi rGO (1, 2, 3%) yang ditambahkan terhadap karakteristik komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO ?
3. Bagaimana aktivitas fotokatalitik komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO dalam mendegradasi *Tetracycline* di bawah iradiasi cahaya tampak ?

1.3 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini:

1. Dengan adanya penambahan ekstrak rumput laut cokelat (*Sargassum* sp.) pada pembentukan komposit TiO_2/Fe_2O_3 mampu mencegah terjadinya aglomerasi partikel.
2. Penambahan rGO ke dalam komposit TiO_2/Fe_2O_3 akan meningkatkan luas permukaan dan menekan rekombinasi muatan, sehingga aktivitas fotokatalitiknya meningkat.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis pengaruh penambahan ekstrak rumput laut cokelat (*Sargassum* sp.) dalam sintesis hijau komposit TiO_2/Fe_2O_3.
2. Menentukan konsentrasi optimum rGO yang ditambahkan ke dalam komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO.
3. Mengevaluasi aktivitas fotokatalitik komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO dalam mendegradasi *Tetracycline* di bawah iradiasi cahaya tampak.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman serta informasi terkait penanganan permasalahan lingkungan perairan akibat residu antibiotik melalui metode fotokatalisis berbasis komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO yang bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.6 Keaslian Penelitian

Modifikasi celah pita (*band gap*) pada material semikonduktor seperti titanium dioksida (TiO_2) menggunakan metode doping telah dikembangkan guna meningkatkan responnya terhadap cahaya tampak (Aritonang *et al*., 2017, 2021). Namun, sebagian besar pendekatan ini gagal memberikan peningkatan performa yang signifikan karena menyebabkan terbentuknya pusat rekombinasi yang tidak diinginkan, yang justru menurunkan efisiensi fotokatalitik (Zajac *et al*., 2022). Pusat rekombinasi tersebut merupakan cacat struktural yang melekat pada metode modifikasi celah pita seperti doping, dan dapat mempercepat rekombinasi pasangan elektron-hole sebelum sempat berinteraksi dengan polutan (Aritonang *et al*., 2021).

Seiring dengan kemajuan penelitian terkini, potensi pembentukan struktur *heterojunction* telah digunakan sebagai strategi efektif untuk mengembangkan fotokatalis berkinerja tinggi. Fotokatalis *heterojunction* terbukti mampu meningkatkan penyerapan energi cahaya (terutama sinar tampak), memaksimalkan efisiensi pemisahan pembawa muatan serta mengoptimalkan kinerja reaksi oksidasi dan reduksi fotokatalis melalui kombinasi antara fotokatalis berbasis TiO_2 dengan material pendukung seperti CdS, $AgBiS_2$, Fe_2O_3, SNO, dan g-C_3N_4 (Du *et al*., 2018; Ganguly *et al*., 2019; Jin *et al*., 2017; Mohammadi *et al*., 2023; W. Wang *et al*., 2017).

Penggunaan bahan kimia berbahaya (*Acetylacetone*) sebagai agen pengkelat (*chelating agent*) dalam proses sintesis TiO_2 berpotensi menghasilkan produk sampingan yang berbahaya bagi lingkungan dan dapat menurunkan kualitas nanopartikel yang dihasilkan (Aritonang *et al*., 2021). Penggunaan ekstrak tumbuhan dalam sintesis nanopartikel TiO_2 telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir karena penggunaan bahan yang ramah lingkungan dan memungkinkan pelepasan produk sampingan yang tidak berbahaya serta mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya (Aritonang *et al*., 2025; Bopape *et al*., 2023; Ramesh & Rajendran, 2023). Salah tumbuhan yang berpotensi digunakan sebagai agen penstabil dan pereduksi dalam sintesis nanopartikel adalah rumput laut cokelat (*Sargassum* sp.). Potensi tersebut didasarkan atas kandungan antioksidan dan senyawa polifenol yang terdapat dalam ekstrak yang dapat digunakan sebagai agen pelapis (*capping agent*), penstabil, dan pereduksi dalam sintesis nanopartikel (Aritonang *et al*., 2025; Sobuj *et al*., 2024).

Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada penggunaan ekstrak rumput laut cokelat (*Sargassum* sp.) dalam biosintesis nanopartikel TiO_2 yang dimodifikasi dengan penambahan Fe_2O_3 guna membentuk komposit *heterojunction*. Komposit TiO_2/Fe_2O_3 yang diperoleh selanjutnya diimobilisasikan pada permukaan *reduced graphene oxide* (rGO) dengan variasi 1, 2, 3 % terhadap massa komposit sebagai bahan konduktif berbasis karbon yang mampu meningkatkan transfer muatan dan mencegah rekombinasi elektron-*hole*. Konduktivitas tinggi dan luas permukaan besar dari rGO memungkinkan elektron hasil eksitasi cahaya berpindah dengan cepat, memperpanjang masa hidup muatan fotoeksitasi, serta meningkatkan

produksi ROS (*Reactive Oxygen Species*) **y**ang bersifat destruktif dalam proses fotokatalitik (Rashid *et al*., 2025; Utami *et al*., 2024). Aktivitas fotokatalitik komposit TiO_2/Fe_2O_3/rGO akan diuji dalam proses degradasi *Tetracycline* di bawah iradiasi cahaya tampak**,** untuk mengevaluasi potensi aplikasi komposit ini sebagai fotokatalis dalam proses penanganan pencemaran lingkungan perairan akibat kontaminasi residu antibiotik.